

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

А.Г. ЖУКОВСКИЙ

В.И. ЮХНОВ

Методические указания
По выполнению практического занятия №4
по дисциплине

СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы
связи.

Профиль «Мобильная связь и интернет вещей»

Ростов-на-Дону
2022

Методические указания
по выполнению практического занятия №4
по дисциплине
СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Принципы частотно-территориального планирования

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «19» декабря 2022 г., № 5.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Алгоритм частотно-территориального планирования сетей сотовой связи

Исходные данные для планирования сети

Первоначальное построение сети

Выбор кластера

Определение пространственных параметров сети

Составление энергетического бюджета линий и определение параметров базовых станций

Составление частотно-территориального плана сети

Построение зон покрытия для сетей сотовой связи

КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приложение А

Приложение Б

Приложение В

Приложение Г

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АС - Абонентская станция БС - Базовая станция КУ - Коэффициент усиления антенны РЭС - Радиоэлектронное средство ЧНН - Час наибольшей нагрузки

ЭИИМ - Эквивалентная изотропно излучаемая мощность ЭИМ - Эффективно излучаемая мощность ЭМС - Электромагнитная совместимость

BER - Bit Error Rate (коэффициент появления битовых ошибок)

C/I - Carrier-to-Interference ratio (отношение мощности несущей к мощности помехи)

C/N - Carrier-to-Noise ratio (отношение мощности несущей к мощности шума)

CS - Channel switching (коммутация каналов)

GMSK - Gaussian minimum shift keying (гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом)

GSM - Global System for Mobile Communications (глобальный цифровой стандарт подвижной сотовой связи)

MCS - Modulation and coding scheme (схема модуляции и кодирования)

TCH/FS - Traffic channel/full speed (разговорный канал, работающий на полной скорости)

TCH/HS - Traffic channel/half speed (разговорный канал, работающий на половинной скорости)

8-PSK - 8-Phase Shift Keying (8-позиционная фазовая манипуляция)

Практическое занятие № 4

Принципы частотно-территориального планирования

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Изучение основных принципов и этапов частотно-территориального планирования сетей сотовой связи.

1.2 Определение основных параметров, необходимых для планирования сетей сотовой связи.

1.3 Получение практических навыков по частотно-территориальному планированию сетей сотовой связи.

2 КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Значительный рост числа радиоэлектронных средств (РЭС) делает чрезвычайно важной задачу оптимального частотно-территориального планирования.

Частотно-территориальное планирование сетей радиосвязи предусматривает выбор структуры сети, мест установки базовых станций, выбор типа, высоты и ориентации антенн, а также распределение частот между базовыми станциями.

2.1 Алгоритм частотно-территориального планирования сетей сотовой связи

Определяющим при проектировании сети подвижной радиосвязи является планирование радиосети, которое представляет собой итеративный процесс с выполнением следующих шагов [1]:

1 Синтез структуры сети, предполагающий поиск наиболее оптимального варианта, позволяющего при минимальном количестве используемых ресурсов (прежде всего аппаратурных и частотных) учесть все исходные требования, которые ставятся при планировании радиосети.

2 Прогнозирование напряженности поля, создаваемого каждой базовой станцией.

3 Определение зоны покрытия и выявление теневых зон для каждой ячейки и сети в целом.

4 Распределение частот по отдельным ячейкам.

5 Анализ работы сети с учетом взаимных помех.

При частотно-территориальном планировании выбирается структура сети, места размещения базовых станций (БС), определяется возможность обеспечения покрытия требуемой зоны обслуживания с заданным качеством связи, разрабатывается частотный план распределения радиоканалов для БС, выполняется адаптация планов к условиям территориальных и частотных ограничений проектируемой зоны обслуживания, проверяются обеспечение внешней электромагнитной совместимости (ЭМС) планируемой системы с РЭС других систем и возможность обеспечения требуемой емкости сети для обслуживания абонентской нагрузки с заданной вероятностью блокирования вызовов.

Блок-схема алгоритма частотно-территориального планирования сетей сотовой связи приведена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Алгоритм планирования сети подвижной связи

2.2 Исходные данные для планирования сети

Исходные данные для планирования содержат общие характеристики сети связи: число и частоты разрешенных радиоканалов, план сети с указанием жела-

тельных пунктов размещения БС, отвечающих требованиям по наличию линий связи с АТС общего пользования, электропитанию, возможности размещения оборудования, антенн и др.

В качестве технических основ для планирования используются характеристики предполагаемых для использования стандартов, приемопередающего оборудования и антенн, условия распространения радиоволн, необходимая напряженность поля полезного сигнала, нагрузка на одного абонента и т. д.

Перечень параметров, которые необходимо учитывать при планировании сетей подвижной радиосвязи и абонентского доступа, приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры, учитываемые при планировании сетей подвижной связи

Тип информации	Параметры
Планируемая территория	Площадь зоны покрытия, численность населения для выбранного района/города/области; Тип местности: городская, пригородная, сельская;
Параметры нагрузки	Нагрузка на одного абонента; Плотность абонентов на планируемой территории; Требования к росту нагрузки; Начальная емкость сети;
Оборудование	Краткий перечень технических параметров, используемых при планировании; Стоимость оборудования; Антенно-мачтовые сооружения;
Другие критерии сетевого проекта	Битовая вероятность ошибки; Процент уменьшения зоны покрытия ячейки из-за помех;
Вопросы регламентации	Наличие частотного ресурса и возможные ограничения при получении лицензии на использование радиочастотного ресурса; Возможные ограничения, связанные с размещением и размерами антенно-мачтовых сооружений;
Параметры связанные с распространением радиоволн	Варианты моделей распространения радиоволн; Запас на временные замирания; Запас на затенение.

2.3 Первоначальное построение сети

2.3.1 Выбор кластера

Чтобы разделить территорию на соты оптимально, то есть без перекрытия или пропусков участков, могут быть использованы различные геометрические фигуры, наиболее близко аппроксимирующие окружность. Примерами таких фигур являются треугольник, квадрат и шестиугольник. Наиболее подходящей фигурой является шестиугольник. Это объясняется тем, что при использовании ненаправленной антенны, расположенной в центре ячейки зона покрытия будет

представлять собой окружность, площадь которого наиболее близка к площади шестиугольника.

При частотно-территориальном планирования сетей сотовой связи используется понятие кластера. **Кластером** называется совокупность ближайших ячеек, в которых используются различные частотные каналы. **Размерностью кластера** называется количество ячеек, входящих в его состав. Размерность кластера определяется исходя из следующего соотношения:

$$K = i^2 + ij + j^2, \quad (2.1)$$

где i, j - целые числа.

Расстояние между ячейками, использующими одни и те же группы частот, зависит от частотного диапазона, допустимого уровня помех и количества базовых станций, расположенных вокруг данной ячейки. Использование ячеек, в которых базовые станции имеют ненаправленные антенны, приводит к тому, что сигнал от базовых станций имеет одинаковую мощность во всех направлениях. В этом случае помеха в абонентский терминал будет приходить от шести базовых станций (рис. 2.2).

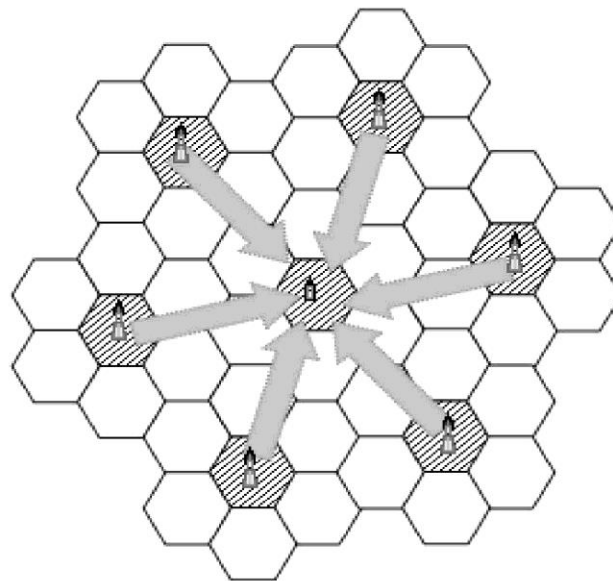


Рисунок 2.2 – Помехи по основному каналу приема

Снижение уровня помех достигается за счет использования направленных антенн. Так, в кластерах, использующих трех- и шестисекторные антенны, на входе абонентского терминала приходят две и одна помеха соответственно.

Типы кластеров и соответствующее распределение групп частот в них определяют модели повторного использования частот. Если число секторов в ячейке $M = 1$ – антенна ненаправленная и ширина диаграммы направленности (ДН) по уровню половинной мощности составляет $2\theta_{0,5} = 360^\circ$; при $M = 3$ –

ячейка состоит из трех секторов, а ширина ДН антенн в каждом секторе $2\theta_{0,5}=120^\circ$; если $M=6$ – имеется шесть секторов, при этом ширина ДН каждой антенны $2\theta_{0,5}=60^\circ$.

Главным критерием при выборе размерности кластера является выполнение требований по допустимому отношению сигнал/помеха (С/П) в точке приема в основном канале.

Для выбора кластера необходимо также задать требования к вероятности события, когда отношение сигнал/помеха в точке приема окажется ниже порогового. Эта величина характеризует устойчивость связи при перемещении подвижного абонента в зоне обслуживания сети. Обычно эту вероятность задают на уровне 0,1...0,15.

Показатель, связывающий значение радиуса ячейки R и расстояние D между ячейками с повторяющимися частотами, называется **относительным расстоянием** повторного использования частотных каналов и определяется по формуле

$$q = D/R = \sqrt{3K}. \quad (2.2)$$

Вероятность невыполнения требований по отношению сигнал/помеха в точке приема зависит от размерности кластера и определяется по формуле [2]

$$\rho(K) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp(-x^2/2) dx \right] \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

где

$$x_1 = \frac{10 \lg\left(\frac{1}{\beta_e}\right) - C/I}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_e^2}}; \quad (2.4)$$

σ – отклонение величины уровня сигнала в точке приема, дБ;

β_e – относительный уровень суммарной помехи от всех источников помехи по основному каналу приема:

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^j \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\sigma^2 - \sigma_e^2)}{2} \right]; \quad (2.5)$$

σ_b – отклонение величины уровня суммарной помехи от всех источников помехи по основному каналу приема

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(\gamma^2 \sigma^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^j \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^j \beta_i \right)^2} \right\}; \quad (2.6)$$

γ – параметр логарифмически нормального распределения

$$\gamma = 0,1 \ln(10) = 0,23. \quad (2.7)$$

Значения j и β_i зависят от направленности антенны БС. На основе экспериментальных данных установлено [2], что в большинстве случаев затухание сигнала в системах подвижной связи обратно пропорционально d^4 , где d – расстояние от источника помехи.

Возможны три случая:

1. Если ячейка состоит из одного сектора, то $2\theta_{0,5} = 360^\circ$ и $M = 1$.

В этом случае:

$$\begin{aligned} j &= 6; \beta_1 = \beta_2 = (q - 1)^{-4}; \\ \beta_3 &= \beta_4 = (q - 1)^{-4}; \beta_5 = \beta_6 = (q + 1)^{-4}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

2. Для трехсекторных ячеек $2\theta_{0,5} = 120^\circ$ и $M = 3$. В этом случае:

$$j = 2; \beta_1 = (q + 0,7)^{-4}; \beta_2 = q^{-4} \quad (2.9)$$

3. Для шестисекторных ячеек $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ и $M = 6$. В этом случае:

$$j = 1; \beta_1 = (q + 1)^{-4}. \quad (2.10)$$

2.3.2 Определение пространственных параметров сети

Под пространственными параметрами сети необходимо понимать:

- число абонентов, обслуживаемых одной БС;
- число базовых станций в проектируемой сети;
- радиус ячейки.

Пространственные параметры сети для выбранного типа кластера и фиксированном числе каналов связи, приходящихся на ячейку, зависят от допустимой телефонной нагрузкой при заданной вероятности отказа в обслуживании (блокирования вызова). Эта величина рассчитывается по формуле Эрланга.

Определение пространственных параметров сети начинается с расчета общего числа частотных каналов n_k , выделяемых для развертывания сети на выбранной территории:

$$n_k = M K n_c, \quad (2.11)$$

где M – число секторов в ячейке;

K – размерность кластера;

n_c – количество радиоканалов на 1 сектор.

Минимальная полоса частот, необходимая для развертывания сети составляет:

$$\Delta F = n_k f_k, \quad (2.12)$$

где f_k – полоса частот, занимаемая одним частотным каналом.

Общее число разговорных каналов в одном секторе равно:

$$N_s = n_a n_c, \quad (2.13)$$

где n_a – число разговорных каналов, приходящихся на одну несущую.

Общее число каналов для каждого сектора или зоны обслуживания включает, помимо каналов связи, каналы управления и сигнализации.

Рекомендации по соотношению каналов связи и каналов управления и сигнализации в стандарте GSM приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Соотношение каналов связи, каналов управления и сигнализации в стандарте GSM

Число каналов:		
связи N_n	управления и сигнализации $N_{упр}$	Всего каналов на один сек- тор, N_s
1–7	1	8
8–15	1	16
16–22	2	24
23–30	2	32
31–37	3	40

Для определения телефонной нагрузки в одном секторе одной ячейки используется одно из следующих выражений:

$$A = N_n \left[1 - \sqrt{1 - (P_B \sqrt{N_n \pi / 2})^{\frac{1}{N_n}}} \right], \text{ при } P_B \leq \sqrt{\frac{2}{N_n \pi}}, \quad (2.14)$$

$$A = N_n + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2N_n \ln(P_B \sqrt{N_n \frac{\pi}{2}})} - \sqrt{\frac{\pi}{2}}, \text{ при } P_B > \sqrt{\frac{2}{N_n \pi}}. \quad (2.15)$$

Количество абонентов, которые могут обслуживаться в одной ячейке

$$N_{аб} = \frac{A}{\beta} M, \quad (2.16)$$

где β – телефонная активность одного абонента в час наибольшей нагрузки (ЧНН). Рассчитанное значение числа абонентов необходимо округлять в большую сторону.

Общее количество базовых станций

$$N_{БС} = \frac{N_a}{N_{аб}} \quad (2.17)$$

где N_a – предполагаемое общее число абонентов в проектируемой сети.

Исходя из того, что фигурой обозначающей ячейку, обычно выбирают шестиугольник, радиус зоны покрытия одной базовой станции определяется из соотношения:

$$R_c = \sqrt{\frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{S_t}{N_{БС}}}, \quad (2.18)$$

где S_t – площадь территории, на которой проектируется сеть.

2.3.3 Составление энергетического бюджета линий и определение параметров базовых станций

При определении параметров базовых станций сети (мощности передатчиков и высот антенн) необходимо использовать технические данные радиооборудования сети, в частности, чувствительности приемников мобильных станций, высоты их антенн, и коэффициенты усиления антенных устройств базовых станций и сведения о рельефе местности.

На этом этапе используется методика прогноза зон покрытия на основе выбранной модели определения напряженности поля сигнала в точке приема.

Определение мощности передатчиков базовых станций производится при условии, что высоты подвеса антенн базовых и мобильных станций заданы. Иногда необходимо решить обратную задачу: определить высоту подвеса антенн при заданной мощности передатчиков базовых станций.

Составление бюджета линии вверх и вниз проводится на основе энергетиче-

ческого расчета радиолиний.

Суммарные потери радиосигнала при распространении радиоволн от базовой станции к абонентской станции (АС) или от АС к БС, определяются как

$$L_{BC-AC}(f, h_{BC}, h_{AC}, R_{BC-AC}, трасса) = P_{изл-BC} - P_{min-AC} - Z_{BC-AC}, \quad (2.19)$$

$$L_{AC-BC}(f, h_{AC}, h_{BC}, R_{AC-BC}, трасса) = P_{изл-AC} - P_{min-BC} - Z_{AC-BC}, \quad (2.20)$$

где h_{BC} и h_{AC} – высота подвеса антенн БС и АС над уровнем земли, соответственно;

R_{BC-AC} и R_{AC-BC} – длина радиолинии БС–АС и АС–БС, соответственно;

$трасса$ – определяет район планирования сети (город, пригород, село);

$P_{изл-BC}$ и $P_{изл-AC}$ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) БС и АС, соответственно;

P_{min-AC} и P_{min-BC} – необходимая мощность полезного сигнала для вероятности 50% мест АС та БС, соответственно;

Z_{BC-AC} и Z_{AC-BC} – запас по потерям в радиолинии для соединения вниз и вверх.

ЭИИМ определяется выражением:

$$P_{изл} = P + G_{и} + F(\phi, \Delta) + \eta_{ф} + \eta_{дф} + \eta_{дип}, \quad (2.21)$$

где P – мощность на выходе передатчика, дБ;

$G_{и}$ – коэффициент усиления (КУ) передающей антенны относительно изотропной антенны, дБи. Разница между КУ относительно изотропной антенны и КУ относительно дипольной антенны составляет 2,15 дБ, то есть $G_d = G_{и} - 2,15$;

$\eta_{ф}$ – потери в фидере передающей антенны, дБ;

$\eta_{дф}$ – потери в дуплексном фильтре, дБ;

$\eta_{дип}$ – потери в дуплексоре, дБ;

$F(\phi, \Delta)$ – коэффициент, учитывающий снижение излучаемой мощности, дБ, обусловленное диаграммой направленности. В главном направлении этот коэффициент равен нулю.

Необходимая мощность полезного сигнала для обеспечения приема, в случае 50% местоположений равна:

$$P_{min} = P_{сenc} - G_{и} + \eta_{ф} + \eta_{дип} \quad (2.22)$$

где P_{senc} – чувствительность приемника, равная

$$P_{senc} = -174 + 10 \lg(f_k) + C/N + NF, \quad (2.23)$$

где f_k – ширина полосы частот, занимаемая одним частотным каналом, МГц,

C/N – отношение мощности несущей к мощности шума, требуемое на входе демодулятора. Данное значение зависит от типа используемой модуляции, а также применяемых помехоустойчивых корректирующих кодов. Требуемые значения C/N представлены в Приложении Г;

NF – коэффициент шума приемника, дБ.

Выражения в левой части формул (2.19) и (2.20), представляют суммарные потери при распространении радиоволны от БС к АС и от АС к БС. Для сетей сотовой связи работающих ниже 3000 МГц, рекомендуется использовать модели, которые основаны на обобщенных результатах экспериментов:

- модель Окумура–Хата (Приложение А);
- модель Cost 231–Хата (Приложение А);
- модель Рекомендации ITU–R P.1546.

Расчет запаса Z_{BC-AC} и Z_{AC-BC} определяется следующими дополнительными потерями при распространении радиоволн:

- потери, связанные с проникновением волны в здание L_b (см. Приложение Б);
- потери в теле абонента W_a , принимаемые 3 дБ;
- поправка, связанная с требуемым процентом покрытия местоположений C_l , определяемая в Приложении В.

Таким образом:

$$Z = L_b + W_a + C_l \quad (2.24)$$

Пример энергетического бюджета для линии вверх и линии вниз сети сотовой связи, работающей в стандарте GSM–900 представлен в табл. 2.4

2.3.4 Составление частотно–территориального плана сети

После нахождения основных параметров частотно-территориального плана известна размерность кластера и возможная секторизация ячеек в проектируемой сети. Зная число частотных каналов приходящихся на каждую базовую станцию, формируются группы частот, приходящие на каждую базовую станцию. При распределении имеющегося частотного ресурса должны быть сведены к минимуму помехи между ячейками, в которых применяются соседние частотные каналы, а также интермодуляционные помехи между частотными каналами, задействован-

ными в одном секторе ячейки.

Таблица 2.4 - Пример энергетического бюджета для GSM-900

Параметр	Линия вниз БС-АС	Линия вверх АС-БС
Частота несущей сигнала, f_n , МГц	935	890
Мощность передатчика, P , Вт	30,00	1,00
Мощность передатчика, P , дБм	44,77	30,00
Потери в фидере антенны, $\eta_{\text{ф}}$, дБ	1,00	0,00
Потери в дуплексном фильтре, $\eta_{\text{дф}}$, дБ	3,00	0,00
Потери в дуплексоре, $\eta_{\text{дип}}$, дБ	3,50	0,00
КУ антенны, $G_{\text{и}}$, дБи	16,50	0,00
ЭИИМ, $P_{\text{изл}}$, дБм	53,77	30,00
Чувствительность приемника, $P_{\text{сenc}}$, дБм	-102,00	-105,00
Потери в фидере антенны, $\eta_{\text{ф}}$, дБ	0,00	1,00
Потери в дуплексоре, $\eta_{\text{дип}}$, дБ	0,00	3,50
КУ антенны приемника, $G_{\text{и}}$, дБ	0,00	16,50
Необходимая мощность сигнала в месте приема, P_{min} , дБм	-102,00	-117,00
Потери при проникновении в здание, L_b , дБ	7,00	7,00
Потери в теле абонента, W_a , дБ	3,00	3,00
Поправка, связанная с требуемым процентом покрытия местоположений (75% мест), C_l , дБ	2,72	2,72
Запас в радиолинии, Z , дБ	12,72	12,72
Суммарные потери радиосигнала, L , дБ	143,05	134,28
Максимальная дальность связи с вероятностью 75% на границе зоны покрытия, $R_{\text{max } 75}$, км (для $h_{\text{БС}} = 40$ м и $h_{\text{АС}} = 1,5$ м, модель Хата)	3,42	1,97

Распределение частотного ресурса по группам, базовым станциям и их секторам производится с учетом следующих ограничений:

- минимального частотного разнеса радиоканалов в составе одной стойки базовой станции, определяемого требованиями использования наиболее простых устройств сложения мощности канальных передатчиков для работы на общую передающую антенну, $\Delta f_{\text{БС min}}$;

- минимального частотного разнеса радиоканалов смежных секторов, в том числе одной базовой станции, $\Delta f_{\text{С min}}$;

Значения параметров частотных ограничений определяются используемым

стандартом и представлены в виде таблицы 2.4 для стандарта GSM.

Таблица 2.4 – Частотные ограничения для составления частотно–территориального плана сети

Шаг сетки частот, кГц	Общая стойка БС		Смежные сектора	
	$\Delta f_{\text{БС min}}$, кГц	$\Delta N_{\text{БС min}}$	$\Delta f_{\text{С min}}$, кГц	$\Delta N_{\text{С min}}$
GSM 900/1800	200	800	4	400
				2

$\Delta N_{\text{БС min}}$ – минимальный частотный разнос радиоканалов в составе одной стойки БС;
 $\Delta N_{\text{С min}}$ – минимальный частотный разнос радиоканалов смежных секторов, в том числе одной БС.

2.4 Построение зон покрытия для сетей сотовой связи

Зоной покрытия называется территория, на которой значение напряженности поля от полезной станции $E_{\text{пол}}$ превышает минимально необходимую для приема сигнала напряженность поля E_{min}

$$E_{\text{пол}} \geq E_{\text{min}} . \quad (2.25)$$

Минимально необходимая напряженность поля в месте приема зависит от необходимой мощности полезного сигнала на входе приемника:

$$E_{\text{min}} = 77,2 + 20 \lg(f_i) + P_{\text{min}} + Z , \quad (2.26)$$

где f_n – частота несущей, МГц.

При прогнозировании напряженности поля в соответствии с Рекомендацией ITU–R P.1546 считается, что высота приемной антенны составляет 10 м. Если высота подвеса антенны не равна 10 м, должна использоваться поправка, которая зависит от окружения приемной антенны [3]. Для абонентской станции, расположенной на высоте 1,5 м поправка составляет – 25,3 дБ. Для базовой станции, расположенной на высоте 40 м поправка составляет + 6,5 дБ.

Напряженность поля, создаваемая полезной станцией на расстоянии R от передатчика, определяется по формуле:

$$E_{\text{пол}} = P_{\text{изл}} + E(50;50) + F(\theta_{\text{иса}}) - 60 - 2,15 , \quad (2.27)$$

где $E_{\text{пол}}$ – полезная напряженность поля в дБмкВ/м на расстоянии R от передатчика;

$P_{\text{изл}}$ – ЭИИМ базовой станции в дБм;

$E(50;50)$ – медианное значение полезной напряженности поля в дБмкВ/м для 50% мест и 50% времени, определенное по кривым распространения для соответствующего частотного диапазона и эффективной высоты передающей антенны h_1 , на расстоянии R от передатчика,.

$F(\theta_{ica})$ – поправка по углу просвета местности, учитывающая возможное затенение приемной антенны рельефом местности или зданиями, дБ.

Эффективная высота передающей антенны h_1 определяется как ее высота в метрах над средним уровнем от поверхности земли на расстояниях между 3 и 15 км от передающей антенны в направлении приемной антенны (рис. 2.4)

$$h_1 = \begin{cases} h_1^* - \Delta H_{cp}, & \text{если } h_1 \geq 10 \text{ м} \\ 10 \text{ м}, & \text{если } h_1 \leq 10 \text{ м} \end{cases} \quad (2.28)$$

где h_1^* – высота подвеса антенны передатчика над уровнем моря.

Средняя высота местности ΔH_{cp} определяется по следующей формуле:

$$\Delta H_{cp} = \frac{\sum_{i=0}^{48} h_i}{49}, \quad (2.29)$$

где h_i – высота места на расстоянии $(3000 + 250i)$ м от передатчика. Если расстояние меньше 15 км, учитывается только фактическое расстояние до приемника.

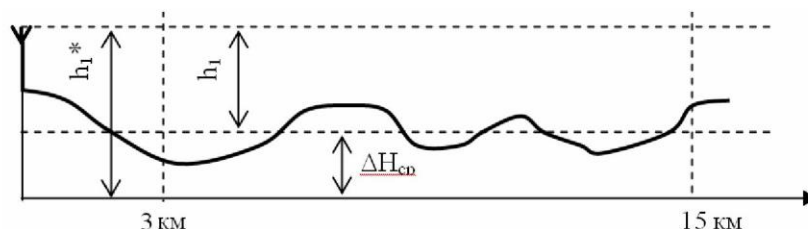


Рисунок 2.4 – К определению средней высоты места

Угол просвета местности, θ_{ica} , который задается как

$$\theta_{ica} = \theta, \quad (2.32)$$

где θ – опорный угол, который измеряется относительно линии, исходящей из приемной антенны, которая проходит непосредственно над всеми препятствиями на местности в направлении передающей антенны на расстоянии до 16 км, но не выходящим за пределы местоположения передающей антенны (рис.2.5).

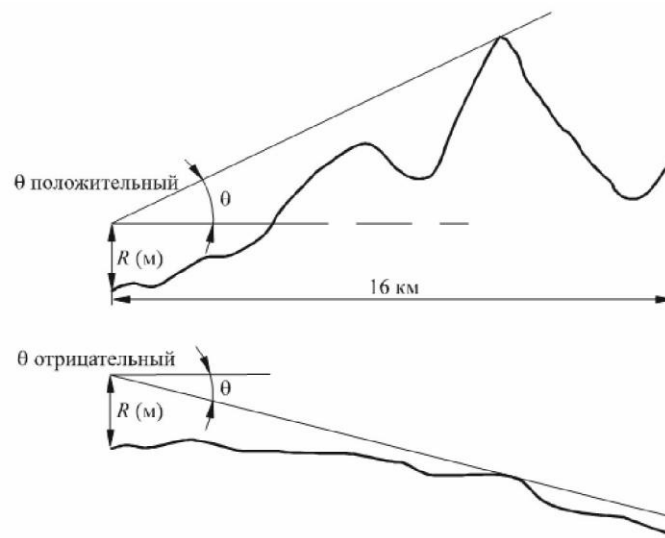


Рисунок 2.5 – Определение угла просвета местности

Подробное описание определения напряженности поля содержится [4].

3 КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ

- 3.1 Для чего необходимо частотно-территориальное планирование сотовых сетей?
- 3.2 Чем обусловлена необходимость повторного использования частот?
- 3.3 Перечислите основные этапы планирования сетей сотовой связи.
- 3.4 Что означает понятие «кластер»? Каковы критерии выбора размерности кластера?
- 3.5 Какие исходные данные необходимы для планирования сетей сотовой связи?
- 3.6 Что такое «зона покрытия» и как она определяется?
- 3.7 Какие накладываются ограничения при распределении частотного ресурса между базовыми станциями?

4 ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1 Подготовить устные ответы на ключевые вопросы.
- 4.2 Привести алгоритм частотно-территориального планирования сети.
- 4.3 Составить энергетический бюджет для линии вверх и линии вниз сети GSM–900. Исходные данные приведены в табл. 4.1. Числа mn , определяющие вариант, – последние две цифры номера зачетной книжки.

Таблица 4.1 – Исходные данные для составления бюджета линий

Параметр	Линия вниз БС–АС	Линия вверх АС–БС
Частота, МГц	945	900
Мощность передатчика, Вт	10,00 + 0,3 <i>mn</i>	0,50 + 0,01 <i>mn</i>
Потери в фидере антенны, дБ	0,50 + 0,01 <i>mn</i>	0,00
Потери в дуплексном фильтре, дБ	2,50 + 0,02 <i>mn</i>	0,00
Потери в диплексоре, дБ	3,00 + 0,05 <i>mn</i>	0,00
Коэффициент усиления антенны, дБи	10,00 + 0,1 <i>mn</i>	0,00
Чувствительность приемника, дБм	–100,00+ 0,05 <i>mn</i>	–104,00+ 0,05 <i>mn</i>
Потери при проникновении в здание, дБ	7,00+ 0,02 <i>mn</i>	
Потери в теле абонента, дБ	2,50+ 0,01 <i>mn</i>	
Поправка, связанная с требуемым процентом покрытия местоположений (75% мест), дБ	2,72	
<i>mn – последние две цифры номера зачетной книжки</i>		

4.4 Составить таблицу с исходными данными для выполнения лабораторного задания в соответствии с номером бригады.

7 СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно–территориальное планирование. – Изд. 2–е исправленное. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с
2. Сукачев Э.А Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: Учеб. пособие. – Изд. 2–е, испр. и доп. – Одесса: УГАС, 2000. – 119 с.
3. Recommendation ITU–R P.1546–4 Method for point–to–area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz, Geneva 2009.
4. Расчет зон покрытия для цифрового эфирного вещания DVB–T/H, «Телеспутник», с.70–74 №7, 2008
5. Report ITU–R SM.2028–1 Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems, Geneva, 2002.

Модель Хата определения потерь распространения для систем сухо- путной подвижной связи

В результате многочисленных измерений потерь распространения радиоволн в г. Токио японским ученым Окумурой были построены кривые зависимости потерь от расстояния. Позже другой японский ученый Хата обработал экспериментальные данные Окумуры и предложил аппроксимирующие формулы расчета потерь распространения радиоволн в условиях города. В конце 90-х Европейской ассоциацией EURO-COST разработана расширенная версия формул Хата для диапазона частот выше 1500 МГц.

Ниже представлены обобщенные уравнения модели Cost231-Хата. Данные формулы могут применяться при следующих условиях:

частота несущей: $150 \text{ МГц} < f < 3000 \text{ МГц}$;

высота подвеса антенны АС: $h_{AC} < 10 \text{ м}$;

высота подвеса антенны БС: $h_{BC} < 100 \text{ м}$;

расстояние между антеннами передатчика и приемника: $d < 100 \text{ км}$.

Случай 1: $d \leq 0,04 \text{ км}$

$$L = 32,4 + 20 \lg(f) + 10 \lg(d^2 + (H_b - H_m)^2 / 10^6).$$

Случай 2: $d \geq 0,1 \text{ км}$

$$a(H_m) = (1,1 \lg(f) - 0,7) \min\{10, H_m\} - (1,56 \lg(f) - 0,8) + \max\{0, 20 \lg(H_m / 10)\}; \quad b(H_b) = \min\{0, 20 \lg(H_b / 30)\};$$

$$\alpha = \begin{cases} 1; & \text{для } d \leq 20 \text{ км} \\ 1 + (0,14 + 1,87 \cdot 10^{-4} f + 1,07 \cdot 10^{-3} H_b) \left(\lg \frac{d}{20} \right)^{0,8}; & \text{для } 20 \text{ км} < d \leq 100 \text{ км} \end{cases};$$

$$H_m = \min(h_{AC}, h_{BC}), \quad H_b = \min(h_{AC}, h_{BC});$$

Случай 2.1: Городская застройка

2.1.1 Частота $30 \text{ МГц} < f \leq 150 \text{ МГц}$

$$L = 69,6 + 26,2 \lg(150) - 20 \lg(150/f) - 13,82 \lg(\max\{30, H_b\}) + \alpha [44,9 - 6,55 \lg(\max\{30, H_b\})] \lg(d) - a(H_m) - b(H_b)$$

2.1.2 Частота $150 \text{ МГц} < f \leq 1500 \text{ МГц}$

$$L = 69,6 + 26,2 \lg(f) - 13,82 \lg(\max\{30, H_b\}) + \\ \alpha[44,9 - 6,55 \lg(\max\{30, H_b\})] \lg(d) - a(H_m) - b(H_b) .$$

2.1.3 Частота $1500 \text{ МГц} < f \leq 2000 \text{ МГц}$

$$L = 46,3 + 33,9 \lg(f) - 13,82 \lg(\max\{30, H_b\}) + \\ \alpha[44,9 - 6,55 \lg(\max\{30, H_b\})] \lg(d) - a(H_m) - b(H_b) .$$

2.1.4 Частота $2000 \text{ МГц} < f \leq 3000 \text{ МГц}$

$$L = 46,3 + 33,9 \lg(2000) + 10 \lg\left(\frac{f}{2000}\right) - 13,82 \lg(\max\{30, H_b\}) + \\ \alpha[44,9 - 6,55 \lg(\max\{30, H_b\})] \lg(d) - a(H_m) - b(H_b) .$$

Случай 2.2: Пригород

$$L = L(\text{urban}) - 2\{\lg[(\min\{\max\{150, f\}, 2000\})/28]\}^2 - 5,4 .$$

Случай 2.3: Сельская местность (открытая зона)

$$L = L(\text{urban}) - 4,78 \{\lg[\min\{\max\{150, f\}, 2000\}]\}^2 + \\ 18,33 \lg[\min\{\max\{150, f\}, 2000\}] - 40,94 .$$

Случай 3: $0,04 \text{ км} < d \leq 0,1 \text{ км}$

$$L = L(0,04) + \frac{[\lg(d) - \lg(0,04)]}{[\lg(0,1) - \lg(0,04)]} [L(0,1) - L(0,04)] .$$

Потери на проникновение в здание

На основе практических измерений, проведенных в Финляндии, получены значения потерь на проникновение в здание (табл. Б.1)

Таблица Б.1 – Потери на проникновение и среднеквадратическое отклонение уровня сигнала для некоторых типов зданий

Тип	Потери на проникновение в здание L_b , дБ	Среднеквадратическое отклонение уровня сигнала σ_b , дБ
– Пригородные жилые строения; – Помещения с окном на внешней стене квартиры в городской среде;	7	5
– Внешние помещения в офисных строениях в городской среде; – Внутренние помещения в квартирах в городской среде;	11	6
– Внутренние помещения в офисных строениях в городской среде;	15	7

**Определение поправки, связанной с требуемым процентом
покрытия местоположений C_l**

Поправочный коэффициент местоположений для логарифмически нормального распределения сигнала равен

$$C_l = \mu \sigma_c, \quad (\text{В.1})$$

где μ – коэффициент распределения логарифмически нормального распределения сигнала (таблица В.1);

σ_c – общее стандартное отклонение (дБ), равное

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_m^2}, \quad (\text{В.2})$$

где σ_m – среднеквадратическое отклонение уровня сигнала, дБ;

σ_b – среднеквадратическое отклонение уровня сигнала при проникновении в здание, дБ.

Таблица В.1 – Коэффициент распределения логарифмически нормального распределения

Процент мест	μ	Процент мест	μ	Процент мест	μ	Процент мест	μ
50	0	63	0,331	76	0,706	89	1,227
51	0,025	64	0,358	77	0,739	90	1,282
52	0,05	65	0,385	78	0,772	91	1,341
53	0,075	66	0,412	79	0,806	92	1,405
54	0,1	67	0,439	80	0,841	93	1,476
55	0,125	68	0,467	81	0,878	94	1,555
56	0,151	69	0,495	82	0,915	95	1,645
57	0,176	70	0,524	83	0,954	96	1,751
58	0,202	71	0,553	84	0,994	97	1,881
59	0,227	72	0,582	85	1,036	98	2,054
60	0,253	73	0,612	86	1,08	99	2,327
61	0,279	74	0,643	87	1,126		
62	0,305	75	0,674	88	1,175		

Отношение несущая/шум C/N в стандарте GSM, дБ

Тип канала	Модуляция	Скорость сверточного кодирования	Отношение C/N , дБ	
			GSM-400, GSM-850, GSM-900	DCS-1800
TCH/FS	GMSK	0,5	9	9
TCH/HS	GMSK	0,49	9	9
CS-1	GMSK	0,5	9	9
CS-2	GMSK	0,67	13	13
CS-3	GMSK	0,75	15	16
CS-4	GMSK	1	24	27
MCS-1	GMSK	0,53	9,5	9,5
MCS-2	GMSK	0,67	12	12
MCS-3	GMSK	0,85	17	18
MCS-4	GMSK	1	22	23
MCS-5	8-PSK	0,37	14,5	15
MCS-6	8-PSK	0,49	17,5	18
MCS-7	8-PSK	0,76	24,5	26,5
MCS-8	8-PSK	0,92	30	24,5
MCS-9	8-PSK	1	35	29